

Koolstof in staal centraal op ECHT 2020



Ir. Guy Claus, Metal Engineer bij Sirris

Ir. Bernard Vandewiele, eigenaar BVDW Consultancy VOF en voorzitter VWT.

Begin december vond het European Congress on Heat Treatment ECHT 2020 plaats met als titel: **Carburising, Carbonitriding and Carbon-based Surface Engineering - including: Opportunities for Industry 4.0**

Door de coronacrisis werd deze bijeenkomst online gehouden en niet in Antwerpen zoals oorspronkelijk gepland. De organisatie van ECHT 2020 (European Conference on Heat Treatment) lag bij de Belgisch-Nederlandse Vereniging voor Warmtebehandelingstechniek (VWT), in samenwerking met de Franse vereniging A3TS. Meer dan 125 deelnemers konden vanuit hun kantoor of thuis de 37 voordrachten volgen en gesprekken voeren met de 13 exposanten.

INLEIDING

Koolstof is één van de belangrijkste elementen in staal om de gewenste eigenschappen zowel in de kern als aan het oppervlak te bereiken. De optimale rand- en kerneigenschappen worden vooral bekomen door middel van de thermochemische warmtebehandelingen: carboneren en carbonitreren.

Voor de optimale oppervlakte-eigenschappen voor specifieke applicaties bestaan er heel wat koolstof gebaseerde oppervlaktebehandelingstechnieken zoals PVD, CVD en andere. Er zijn een zeer groot aantal specifieke en toepassingsgerichte processen en technieken met typische voordelen en nadelen. Sommige zijn nog in de fase van ontwikkeling of van optimalisatie, aangedreven vanuit de nieuwe wetenschappelijke inzichten in vele gespecialiseerde instituten of industriële research afdelingen.

Het applicatieveld is zeer breed en de technieken worden in vrijwel alle industriële sectoren gebruikt. Een breed scala van

temperaturen en procesparameters is beschikbaar om voor elke applicatie de beste eigenschappen te bekomen.

Omwille van de voortdurende evolutie in de gestelde eisen en de nieuwe toepassingen bestaat er een absolute nood aan continue verbetering van de bestaande processen en de ontwikkeling van nieuwe processen, technieken en equipment. Drijvende krachten hierachter zijn: kwaliteit, functionele prestatie van de behandelde onderdelen, totale kosten efficiëntie, competitie en milieu impact.

De mogelijkheden geboden door het gebruik moderne meet- en regelsystemen, PC's, numerieke methoden, specifieke software, elektronische componenten en sensoren zijn belangrijk voor de huidige stand van de techniek en om in de snelle industriële evolutie die op punt te blijven houden.

In een aantal rubrieken zullen we de belangrijkste elementen en nieuwigheden beknopt toelichten.

KEY-NOTE SPREKERS EN PRESENTATIES

In 3 key-note presentaties werd een beeld geschetst over wat de stand is en wat er te verwachten is in de toekomst.

Mathias Steinbacher van het Leibniz Institute for Materials Engineering - IWT Bremen behandelde de metallurgische principes van het carboneren en carbo-nitreren, de relatie met de microstructuren en de trends in deze groep van behandelingen zoals carbo-austempering en multi-boost carburizing.

Prof. M. Somers van de Technical University of Denmark, Department of Mechanical Engineering gaf een overzicht van de basis principes van de zeer uiteenlopende groep van oppervlaktebehandelingstechnieken en een toelichting bij enkele nieuwe ontwikkelingen op het vlak van opko-

len van inox, carbo-oxideren van titaan en enkele inzichten in enkele experimentele ontwikkelingen.

Yannick Lingelbach van het Central Research Department bij Robert Bosch GmbH gaf een toelichting over Artificiële Intelligentie en Big Data met als voorbeeld het gebruik van Machine Learning in de warmtebehandelingen, meer bepaald het beheersen van het carboneren voor massaproductie in een Industrie 4.0-omgeving bij de firma Bosch.

CARBONEREN EN CARBO-NITREREN IN DE INDUSTRIE: TRENDS EN DRIVERS

Er werden 8 presentaties gehouden rond dit thema komende vanuit diverse hoeken. Het is duidelijk dat de twee grote groepen, namelijk het **klassiek atmosferisch proces** en het **lage druk proces** LPC (Low Pressure Carburizing) naast elkaar bestaan en zullen blijven bestaan. Via beide technieken kan men de gewenste producteigenschappen bereiken. Daarvoor bestaan er voldoende testresultaten en dit werd ook duidelijk gemaakt in enkele praktijk voorbeelden. Bij nieuwe investeringen hangt de keuze sterk af van de massiviteit van de te behandelen stukken en de gewenste kerneigenschappen in relatie tot de hardbaarheid van het staal. Voor grote stukken blijven de atmosferische processen in grote ovens gekoppeld aan afschrikken in olie of polymeer de enige oplossing. Voor kleinere stukken hangt de keuze veel meer af van andere factoren dan de zuiver metallurgische en die zelfs vrij bedrijfsspecifiek kunnen zijn zoals: bestaande infrastructuur, traditie en preferentie, milieuaspecten, integreerbaarheid in productie, flexibiliteit, homologatie vereisten en andere lokale omgevingsfactoren en wetgeving.

Op diverse vlakken is er een continue evolutie:

- Op het vlak van de hardingsoliën wordt door aangepaste productieprocessen betere lange termijn stabiliteit van de afschrikwerking gegarandeerd.
- De sensoren voor de procescontrole worden steeds performanter en betrouwbaarder en er is ook een tendens dat bepaalde zelf-kalibrerend zijn wat de betrouwbaarheid en productievriendelijkheid ten goede zal komen.
- Ook op het vlak van de opbouwgereedschappen is er een tendens naar betere hittebestendige staalsoorten en is het duidelijk dat CFC gebaseerde opbouwgereedschappen steeds meer aan belang winnen voor bepaalde applicaties.
- Op het vlak van de ovenverwarming is er een algemene tendens naar elektrische verwarming, zeker voor de kleinere ovens en vacuüm ovens. Voor de grotere ovens zoals putovens, doorstootovens en andere grote continue ovens is de situatie veel meer genuanceerd. Zoals Dr. Wünning aangaf dient de discussie ten gronde gevoerd te worden, niet enkel beperkt tot het niveau oven (micro -benadering) maar op de totale energieketting (macro-benadering). De ultra-moderne branders, aanpasbaar aan diverse brandstoffen vormen een valabel alternatief op micro-vlak en zijn zelfs beter vanuit dit macro-aspect dan de zuivere elektrische verwarming. Het is duidelijk dat de betrokken overheden zich daarvan bewust moeten zijn om een passende regelgeving, bij voorkeur op Europees vlak, te ontwikkelen. Het is beslist niet zo dat elektrisch altijd beter is dan gas.
- Qua energieverbruik hebben de leveranciers van ovenssystemen zeker niet stil gestaan en door een combinatie van veel factoren hebben ze het netto-energieverbruik aanzienlijk kunnen verbeteren. Bij grote ovenssystemen is het hergebruik van verlies-warmte ook een aspect waarvoor interessante technische oplossingen bestaan.
- Ook blijft het gebruik van zoutbaden nog actueel, specifiek naar bepaalde

applicaties. De moderne volledig geautomatiseerde zoutbadlijnen zijn voorzien van alle nodige periferie voor zout recuperatie/regeneratie, waswater behandeling en recuperatie en reduceren van verlieswarmte zodat deze ook technisch voldoen aan de gestelde milieu- en omgevingsvereisten.

Het is en blijft een belangrijk gegeven dat men de warmtebehandelingen niet los kan zien van de andere grote invloedfactoren zoals materiaalkeuze en materiaal, productieproces, constructieve oplossingen, additionele en de algemene fabricage technieken om tot optimale functionele oplossingen te komen. Dit werd nogmaals overduidelijk in de presentatie van Dr. Eva Troell van RISE IVF die een uitgebreid onderzoek voorstelde, waarbij een optimale materiaalselectie gekoppeld werd aan aangepaste design en behandelingen als carboneren, plasmanitreren en shot peening en carboneren, met als doel de vermoeiingsweerstand van lichtgewicht aandrijfcomponenten te verhogen zoals bijgevoegde figuur duidelijk maakt.

delijk in de voordracht van Arnold Horsch over de grote spreidingen in de bepaling van de effectieve hardingsdieptes met de beste apparatuur en door laboratoria met accreditatie. Dit is en blijft nog een groot werkdomein.

LOW PRESSURE CARBURIZING

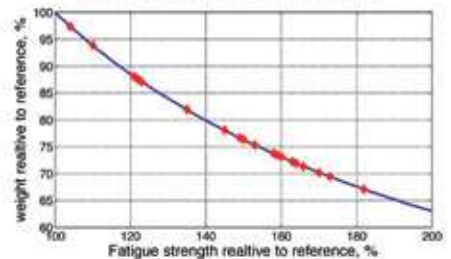
Het is duidelijk dat LPC (Low Pressure Carburizing) voornamelijk gekoppeld aan lage druk gas afschrikking een algemeen aanvaarde techniek is die nog aan belang wint met enkele specifieke voordelen op het vlak van milieu. Door het gebruik van vacuümovens zijn hogere behandelings-temperaturen mogelijk wat de behandelingstijden aanzienlijk kan verkorten indien het te behandelen staak het toelaat. In die zin werken de staalleveranciers sterk op stalen met gegarandeerde korrelfijnheid op hoge temperatuur tot 1050 à 1100°C. Het proces is een dynamisch proces en men werkt met recepten die men zeer nauwkeurig en repeterend kan uitvoeren.

Weight-savings-potential

Tooth-bending fatigue

- 57% of tested manufacturing concepts resulted in at least 40% performance increase.
- Top performers had an 80% increase. Hence, an indicated weight-saving-potential of up to 40%.

Results applied to a torsion loaded shaft



Weight-savings-potential for the manufacturing concepts when applied to a torsion loaded shaft. About 10-35 % of weight-saving can be realized.

Een ander thema is de controle van de warmtebehandelingen op de behandelde stukken of testspecimen. Hoewel er een enorme evolutie is in betere en meer geautomatiseerde testapparatuur blijft er toch nog steeds een belangrijke relatieve onnauwkeurigheid bestaan en blijven er ook nog veel subjectieve interpretaties mogelijk in de kwantificering van de microstructuren. Dit werd nog eens zeer dui-

Eerste stappen zijn gezet om sensoren voor procescontrole te ontwikkelen. Zowel carboneren als carbonitreren zijn mogelijk. Deze installaties zijn goed geschikt om te integreren in de productiehallen en enkele ovenbouwers hebben oplossingen ontwikkeld die toelaten om de installatie in de productielijnen te integreren zodat ze kunnen gezien worden als een bewerkingscenter in een verspaningslijn. Dit zijn

de zogenaamde "single-piece flow" oplossingen. Uiteraard is dit enkel geschikt voor een bepaald segment van producten en hardingsdieptes. Eerste praktijkervaringen zijn positief.

NUMERIEKE SIMULATIE

De laatste jaren zijn er veel vorderingen gemaakt met simulatiemodellen. Deze laten toe om het opkool- en afschrikproces, de resulterende microstructuren, de interne spanningen en vervormingen te berekenen. Uiteraard zijn niet de modellen maar de diverse factoren die nodig zijn om nauwkeurig te rekenen de grootste uitdaging. De rekentijden voor fijnmazige simulaties zijn lang maar door gebruik te maken van vereenvoudigingen kan de rekentijd aanzienlijk gereduceerd worden waardoor de bruikbaarheid vereenvoudigd wordt. Het is nog altijd zo dat simulatiere resultaten goede indicaties en semi-kwantitatieve resultaten opleveren maar afstemming met de ervaren praktijkmensen is absoluut noodzakelijk om de juiste conclusies te trekken. Dit wordt helaas vaak niet gedaan. Het is ook altijd nodig om de ganse productieketen van staalbereiding – primaire vormgeving tot aan de warmtebehandeling alsook de productdesign mee te nemen. Er zijn immers in het materiaal steeds segregaties, onregelmatigheden in de vloeilijnen en interne spanningstoestanden die vaak niet of onvoldoende gekend zijn en die toch een belangrijke rol kunnen spelen. Dit resulteert dan in minder bruikbare resultaten uit simulaties en grotere spreidingen tussen simulaties en de resultaten in de praktijk met de nodige discussies en soms frustraties tot gevolg.

MICROSTRUCTUREN EN INTERNE KARAKTERISATIE

Uiteraard is het bepalen van de microstructuren (bestanddelen en de verdeling over de sectie) belangrijk gezien de eigenschappen het resultaat zijn van de gerealiseerde microstructuren. Uiteraard bestaan er de microscopische technieken die steeds meer en meer performant zijn en aangevuld met de nodige beeldanalyse

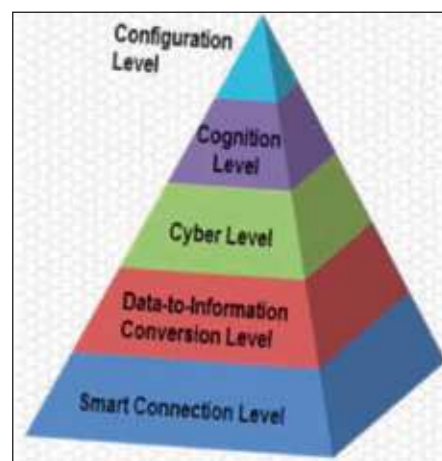
en software om het geheel meer te kwantificeren.

Er worden ook nog nieuwe technieken ontwikkeld. Op het congres werd de "Laser Induced Breakdown Spectrometry" toegelicht die gebruikt kan worden voor het opmeten van koolstofconcentraties in opgekoolde randzone.

Uiteraard is het microstructuur onderzoek een belangrijk aspect voor "failure Analyse". Enkele sprekende voorbeelden werden besproken door Prof. Dr. Sommer:

INDUSTRY 4.0

Het moge duidelijk zijn dat in het algemeen de warmtebehandelingen de evolutie volgen binnen een industrie 4.0 omgeving zowel qua equipment en de componenten, de vele sensoren voor de belangrijke proces- en equipmentparameters, de kennis en toepassing van algoritmen en modellen. Door het beschikbaar zijn van de vele data in digitale vorm is duidelijk dat deze op lokaal vlak (in de plant) maar ook over



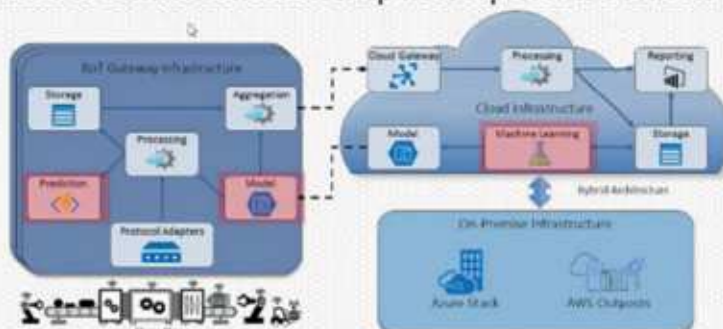
Niettegenstaande de nieuwe mogelijkheden blijft het absoluut noodzakelijk om over zeer competente en ervaren medewerkers te beschikken. Dit is een factor die dreigt wat naar de achtergrond te verdwijnen.

C-BASED COATINGS

De meest bekende soort koolstofhoudende coatings zijn DLC. Oerlikon Balzers presenteerde hun nieuwe BaliQ coating,

Combining cloud power and on-edge process control

Data analysis based on machine learning requires peak computing power. Creating the models in the cloud and uploading ready to go models to control devices on shop floor represents a reliable option.



internet (remote en centraal) toelaten de processen te volgen, te controleren en bij te sturen. Uiteraard zullen in de (verre) toekomst de mogelijkheden geboden door cloud-computing toelaten verder te evolueren naar de virtuele omgevingen die nieuwe mogelijkheden zullen bieden tot betere processen en introductie van AI elementen. Op dit moment zitten we nog in de twee laagste niveau's van de piramide.

een waterstofvrije DLC welke kan afgezet worden bij 200°C hetgeen een lage temperatuur is t.o.v. 350°C voor andere DLC. De coating wordt afgezet met Scalable Pulsed Power Plasma (S3p) dat de voordelen van Arc Evaporation en sputtering combineert nl dichte coatings met hoge adhesie en gladheid.

Bij HEF werden ta-C coatings onderzocht. Dit zijn speciale DLC met tetragonale en

amorphe structuur die ook bij hoge temperaturen kunnen ingezet worden zoals voor zuigerpennen in motoren en waarbij lage wrijvingsweerstand wordt bekomen.

DIFFUSIEHARDEN VAN RVS

In een keynote paper heeft prof Somers de metallurgische principes uitgelegd van het gecontroleerd opkolen en nitreren van roestvast staal d.m.v. plasmamethoden. De gekende procédé's zoals kolsteriseren, Stainihard en Expanite zijn een toepassing van deze methoden om zonder vorming van chroomcarbiden of nitriden een versteviging van het inox te komen met behoud van de roestvastheid.

Cameca Instruments bestudeerde met Atom Probe de stabiliteit van 321 staal verstevigd met TiN en TiC precipitaten, gebruikt voor pijpleidingen over een lange

periode. Deze inzichten komen de levensduur van dergelijke buizen ten goede en kunnen aldus voorkomen dat scheuren leiden tot catastrofale gevolgen.

SKF onderzocht samen met de Universiteit Lyon de mogelijkheid om een roestvast staal, type Pyrowear 675 te carbonitreren om de levensduur bij rollagers te verhogen. Een carboneerdiepte van 0,9 mm en een aanvaardbare microstructuur werd bekomen na 30 uren lagedruk opkolen.

Het inchromeren is een andere methode om de hardheid van roestvast staal te verhogen. Deze diffusietechniek brengt d.m.v. ferrochroompoeder chroom in het staal bij hoge temperatuur. De bedoeling is dat de chroom zich bindt aan koolstof en daardoor een harde carbidelaag vormt d. i. het zgn hardinchromeren. Bij te laag koolstofgehalte in het staal kan eerst een LPC

toegepast worden. De bekomen chroomcarbidelagen zijn zeer hard en bezitten een behoorlijke corrosieweerstand.

BESLUIT

Niettegenstaande de meeste koolstofgebaseerde behandelingen zoals carboneren reeds lang bestaan, wordt er wereldwijd veel onderzoek verricht rond de optimalisatie van de procesvoering, de procescontrole en de ovenatmosferen. Het belang van carboneren en C-gebaseerde lagen voor de technologische industrie is zeker niet te onderschatten gezien de enorme hoeveelheden aan tandwielen, assen, enz. die dagelijks geproduceerd worden. Het thema rond de vervorming na carboneren werd behandeld in deze conferentie maar zal verder uitgebreider aan bod komen in ECHT2021 welke zal georganiseerd door het Duitse AWT in april 2021.



HOW TRUSTWORTHY IS YOUR PRODUCT? ASK OUR TESTLAB EXPERTS!

Find out more on testlabs.sirris.be or ask us a question about your material or product on test@sirris.be.



www.sirris.be - sirris.be/blog - info@sirris.be

 **sirris**
driving industry by technology